

TIME-HARMONIC ANALYSIS OF AN INDUCTION MACHINE BY OPEN-SOURCE SOFTWARE

Vladimír Bílek

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xbilek22@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jan Bárta

E-mail: bartaj@feec.vutbr.cz

Abstract: The main focus of this work is to show simulation capabilities of open-source FEM program ELMER. In this case the simulated electromagnetic model is three-phase induction machine which is solved with time-harmonic analysis. The results of simulation are afterwards compared to time-stepping analysis and measurements of real induction machine with same properties and discussed in the end. The desired results of this work is to show ELMER as a possible replacement for paid simulation programs.

Keywords: Elmer, induction machine, FEM, simulation, time-harmonic analysis

1 ÚVOD

V dnešní době je z hlediska efektivity návrhu a vývoje elektrických strojů, zcela nutnost použít simulační programy, využívající metodu konečných prvků (MKP). Z ekonomického hlediska si však nemohou všechny firmy dovolit drahé simulační programy využívající MKP jako jsou ANSYS, EMS nebo Flux. Jako nejlepší možná náhrada za tyto placené programy jsou open-source programy, které při správném použití mohou dosahovat podobných simulačních výsledků jako placené programy. Tato práce se zabývá open-source simulačním programem ELMER a možnostmi časově harmonické analýzy pro výpočet charakteristik průmyslově vyráběného indukčního stroje.

2 ANALYZOVANÝ STROJ

Pro simulaci byl vybrán průmyslově vyráběný 3-fázový, 4-pólový asynchronní motor s jednovrstvým vinutím. Materiál statorových a rotorových plechů je M470-50A. Katalogové parametry analyzovaného stroje jsou uvedeny v Tab.1.

Parametr	Jednotka	Hodnota
Jmenovitý výkon	kW	1,5
Jmenovitý moment	Nm	9,905
Jmenovité napětí	V	3x400 (Y)
Jmenovitý proud	A	3,43
Kmitočet	Hz	50
Jmenovité otáčky	min ⁻¹	1446,2

Tabulka 1: Parametry analyzovaného stroje.

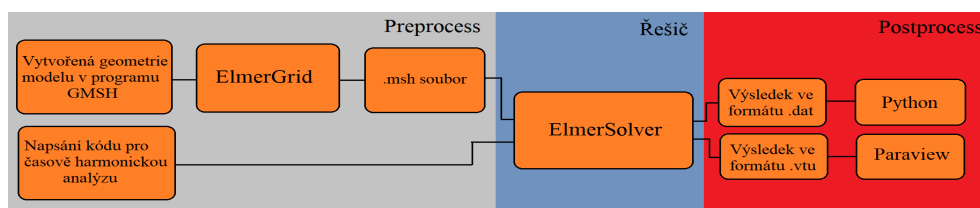
Pomocí výše uvedených a dalších parametrů byla vytvořena geometrie modelu v programu GMSH, což je open-source CAD program. V programu je diskretizovaná geometrie a definované objekty, jako jsou vinutí, statorový zub a další. Výsledný elektromagnetický model byl dále exportován a použit pro vytvoření kódu do programu ELMER, pro časovou harmonickou analýzu.

3 ČASOVĚ HARMONICKÁ ANALÝZA A JEJÍ POUŽITÍ V PROGRAMU ELMER

Pro simulaci elektromagnetického modelu existují dvě základní analýzy časově proměnná a časově harmonická analýza. Časově harmonická analýza počítá model pomocí funkce času. Ve výsledku to znamená, že model je počítán časově harmonickou funkcí, typu sinus a cosinus s různou amplitudou a frekvencí v ustáleném stavu. Pro zjednodušení výpočtu se většinou frekvence uvažují konstantní. Simulace pak spočívá ve vyřešení proměnných těchto časových funkcí. V porovnání s časově proměnnou analýzou, výpočty probíhají v čase pomocí řídicích rovnic a vstupních podmínek modelu. Elektromagnetický model je pak počítán pomocí několika za sebou následujících výpočtů s určitým časovým krokem. Při nových výpočtech se vždy vychází z počátečních podmínek a řídicích rovnic z předešlých výpočtů. Výpočet, pomocí výše popsaných analýz, vede ke stejnému výsledku. Hlavní rozdíl mezi těmito analýzami je čas nutný pro výpočet, kdy časově proměnná analýza je časově mnohem náročnější. Na druhou stranu se využívá u modelů, které jsou velice komplexní, jako jsou např. skokové zatížení motoru nebo simulace přechodových dějů [1].

3.1 VYTVOŘENÍ KÓDU PRO ČASOVOU HARMONICKOU ANALÝZU V PROGRAMU ELMER

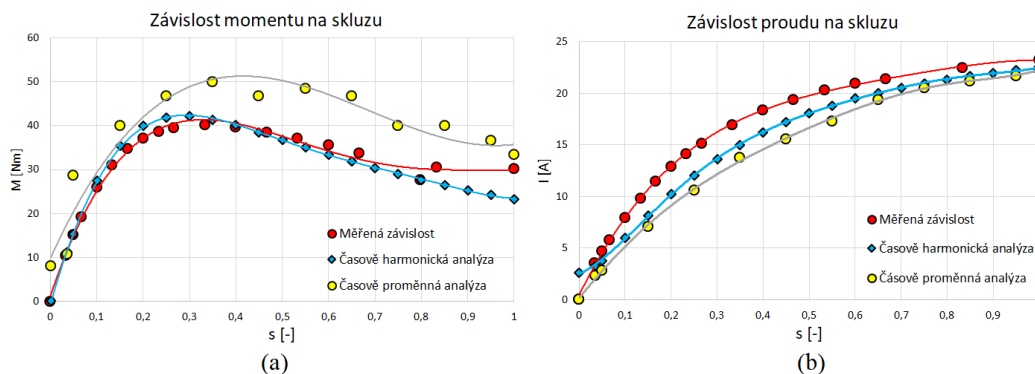
Proces simulace v programu ELMER je znázorněn na Obr.1. V kódu pro ElmerSolver se definuje typ simulace, materiály, řešící rovnice, okrajové podmínky parametrů motoru a toleranční odchylky simulace. Vždy se vychází ze struktury vytvořeného modelu. Simulace se spustí z příkazového řádku, ve kterém probíhá postup výpočtu. Z vypočítaných hodnot se v rámci postprocesu vytvoří grafy pomocí vytvořeného kódu v programu python a zobrazí skalární pole v programu paraview [2].



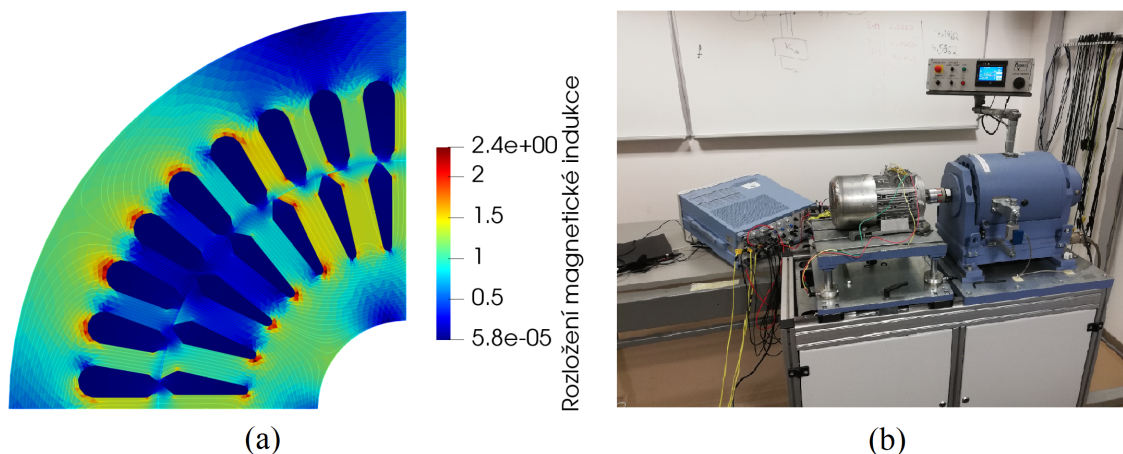
Obrázek 1: Postup simulace v programu ELMER.

4 VÝSLEDKY SIMULACÍ A MĚŘENÍ

Měření motoru proběhlo při polovičním napětí, z důvodu menšího přetížení motoru. Naměřené hodnoty proudu a momentu byly pomocí napětíového poměru přepočítány na jmenovité napětí. Pro další srovnání byli přidány výpočty z časově proměnné analýzy. Porovnávané charakteristiky mezi měřenými a simulovanými hodnotami jsou závislost momentu Obr.2(a) a proudu Obr.2(b) na skluzu. Rozložení magnetické indukce v řezu stroje a měřící stanoviště je uvedeno na Obr.3(a) a Obr.3(b).



Obrázek 2: Závislost momentu na skluzu (a) a proudu na skluzu (b).



Obrázek 3: Rozložení magnetické indukce v řezu stroje (a) a měřící stanoviště (b).

Ze závislosti momentu na skluzu Obr.2(a), lze usoudit, že časově harmonická analýza má téměř stejný průběh s průběhem naměřených hodnot. Liší se hlavně velikostí momentu zvratu a záběrného momentu. Hlavní důvod rozdílu velikosti momentu zvratu je přepočítávací metoda pomocí napět'ového poměru, která počítá s lineární B-H křivkou. Toto zjednodušení velice zkresluje konečné výsledky. Záběrný moment je rozdílný z důvodu vysoké teploty motoru při jeho přetěžování. Důsledkem toho se zvyšuje odpor rotorového vinutí, čímž se zvyšuje i moment. Dále lze pozorovat velké rozdíly v časově proměnné analýze a to hlavně kvůli snížené simulační přesnosti. Pokud by se zvýšil časový krok pro simulaci, hodnoty by nebyly tolik nepřesné a průběh by se blížil více naměřené závislosti a časově harmonické analýze. Ze závislost proudu na skluzu Obr.2(b), lze pozorovat velmi podobné charakteristiky s menšími odchylkami [3].

5 ZÁVĚR

Článek ukázal postup a přesnost analýzy průmyslově vyráběného indukčního stroje prostřednictvím časově harmonické analýzy v open-source programu ELMER. Z prezentovaných výsledků se dá usoudit, že časově harmonická analýza, v programu ELMER, má velmi dobré výsledky. Samotná simulace přitom trvala přibližně 2 minuty. Pro srovnání časově proměnná analýza trvala, při menší přesnosti, přibližně 8 hodin.

REFERENCE

- [1] Antti Lehtikoinen. Time-stepping versus time-harmonic analysis [Online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.anttilehtikoinen.fi/research-work/time-stepping-versus-harmonic/>
- [2] Pavel Ponomarev. SEMTEC Report Elmer FEM - Induction Machine Tutorial. Tech.zpr.ABB, květen 2017. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/317012206_SEMTEC_Report_Elmer_FEM_-_Induction_Machine_Tutorial
- [3] E. B. Agamloh, A. Cavagnino and S. Vaschetto, "Accurate Determination of Induction Machine Torque and Current Versus Speed Characteristics," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 53, no. 4, pp. 3285-3294, July-Aug. 2017. doi: 10.1109/TIA.2017.2675984